

Teoria Generowanej Przestrzeni: W kierunku Unifikacji Grawitacji i Mechaniki Kwantowej

Mateusz Serafin

Polska, Kraków

24 maja 2025

1 Abstrakt

Niniejsza praca przedstawia zarys **Teorii Generowanej Przestrzeni (TGP-ST)**, nowatorskiego podejścia do unifikacji grawitacji i mechaniki kwantowej. Fundamentalnym założeniem TGP-ST jest idea, że **przestrzeń nie jest pasywnym tłem, lecz emergentnym bytem dynamicznym, generowanym bezpośrednio przez obecność masy i energii**. To prowadzi do odrzucenia tradycyjnej koncepcji próżni jako pustej przestrzeni; zamiast tego, Wszechświat jest postrzegany jako sieć dynamicznie generowanej przestrzeni, której "napięcie" opisuje pole skalarne Φ . W TGP-ST, nawet to, co obserwujemy jako "próżnię", jest aktywnym stanem kwantowych fluktuacji pola Φ , pochodzących od generujących przestrzeń cząstek. W tym kontekście, **cząstki wirtualne są interpretowane jako lokalne manifestacje kwantowych fluktuacji tej generowanej przestrzeni**, wynikających z nieoznaczoności pozycji samych źródeł przestrzeni.

W ramach TGP-ST, fundamentalne stałe fizyczne, takie jak prędkość światła c , stała Plancka \hbar i stała grawitacji G , przestają być uniwersalnymi stałymi, stając się lokalnymi polami zależnymi od Φ . Pokazujemy, jak te zależności zachowują stałość długości Plancka ℓ_P . Teoria oferuje potencjalne rozwiązania dla długotrwałych problemów fizyki, w tym eliminacji osobliwości w czarnych dziurach, reinterpretacji ciemnej energii i wyjaśnienia napięcia Hubble'a. Przedstawiamy zmodyfikowane równania ruchu dla grawitacji i pola Φ , a także równanie Schrödingera-TGP z emergentną stałą Plancka. Omawiamy konsekwencje dla klasycznej granicy oraz proponujemy testowalne przewidywania obserwacyjne, które mogłyby zweryfikować dynamiczną naturę czasoprzestrzeni i fundamentalnych stałych.

Keywords: Teoria Generowanej Przestrzeni; Grawitacja Kwantowa; Unifi-

kacja; Zmienna Prędkość Światła; Emergentna Przestrzeń; Stałe Fundamentalne.

2 Wprowadzenie

Współczesna fizyka stoi przed fundamentalnym wyzwaniem unifikacji dwóch swoich najbardziej udanych, lecz niekompatybilnych ram: Ogólnej Teorii Względności (OTW) Einsteina i Mechaniki Kwantowej (MK). OTW z powodzeniem opisuje grawitację jako geometryczną właściwość czasoprzestrzeni, wyjaśniając zjawiska od ruchu planet po dynamikę całych galaktyk. Z kolei MK, stanowiąc podstawę Modelu Standardowego fizyki cząstek elementarnych, niezwykle precyzyjnie opisuje siły jądrowe i elektromagnetyczne w mikroświecie. Niestety, te dwie teorie są ze sobą sprzeczne w ekstremalnych warunkach, takich jak wnętrza czarnych dziur czy początek Wszechświata, gdzie efekty grawitacyjne i kwantowe stają się równie istotne.

Ta niekompatybilność prowadzi do szeregu nierozwiązanych problemów: występowania osobliwości w równaniach OTW (np. w centrach czarnych dziur, gdzie gęstość staje się nieskończona), problemu kosmologicznej stałej (zagadka ciemnej energii i jej rozbieżności z przewidywaniami MK), a także ogólnego braku kwantowej teorii grawitacji. Poszukiwania "Wielkiej Teorii Wszystkiego", która scaliłaby wszystkie siły fundamentalne, trwają od dziesięcioleci, generując wiele obiecujących, lecz wciąż niepełnych podejść, takich jak teoria strun czy pętlowa grawitacja kwantowa.

Niniejsza praca przedstawia zarys **Teorii Generowanej Przestrzeni (TGP-ST)**, nowatorskiego podejścia, które proponuje fundamentalną zmianę paradygmatu w rozumieniu natury czasoprzestrzeni i grawitacji. W przeciwieństwie do OTW, gdzie masa i energia zakrzywiają preegzystującą czasoprzestrzeń, TGP-ST postuluje, że **przestrzeń nie jest pasywnym tłem, lecz dynamicznym bytem emergentnym, generowanym bezpośrednio przez obecność masy i energii**. To oznacza, że istnienie przestrzeni jest nierozzerwalnie związane z obecnością materii, a **koncept "próżni" w tradycyjnym sensie, jako pustej przestrzeni, zanika**. Zamiast tego, to, co postrzegamy jako próżnię, jest dynamicznym stanem kwantowych fluktuacji pola generującego przestrzeń, mającym swoje źródło w istniejących cząstkach. W tym kontekście, cząstki wirtualne są interpretowane nie jako zjawiska pojawiające się z nicości, lecz jako lokalne manifestacje tychże fluktuacji generowanej przestrzeni, wynikające z nieoznaczoności pozycji samych źródeł przestrzeni.

W ramach TGP-ST wprowadzamy pole skalarne Φ , które intuicyjnie opisuje "gęstość" lub "napięcie" generowanej przestrzeni. To dynamiczne pole odgrywa kluczową rolę nie tylko w opisie grawitacji, ale także w determinacji dynamicznej natury fundamentalnych stałych fizycznych. Pokażemy, jak prędkość światła (c), stała Plancka (\hbar) i stała grawitacji (G) przestają być uniwersalnymi stałymi, stając się lokalnymi, zależnymi od Φ polami, które jednak zachowują stałość fundamentalnej skali Plancka (ℓ_P).

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie spójnego formalizmu TGP-ST, ukazanie jego zdolności do oferowania nowych perspektyw na nieroz-

wiązane problemy fizyki oraz zidentyfikowanie potencjalnych, testowalnych przewidywań. Struktura pracy jest następująca: w Sekcji 3 przedstawiamy podstawowe założenia TGP-ST. Sekcja 4 szczegółowo omawia klasyczną formułację teorii, w tym jej fundamentalne działanie i równania ruchu. W Sekcji 6 wyprowadzamy dynamiczną zależność stałych fundamentalnych od pola Φ . Sekcja 5 rozszerza TGP-ST o mechanikę kwantową, wprowadzając zmodyfikowane równanie Schrödingera i reinterpretnując naturę cząstek wirtualnych. Następnie, w Sekcji 7, analizujemy dwie ścieżki do granicy klasycznej. W Sekcji 8 dyskutujemy kluczowe konsekwencje fizyczne i sposoby, w jakie TGP-ST potencjalnie rozwiązuje istniejące problemy. Sekcja 9 prezentuje testowalne przewidywania, a w Sekcji 10 omawiamy otwarte kwestie i kierunki dalszych badań.

3 Podstawowe Założenia Teorii Generowanej Przestrzeni (TGP-ST)

Teoria Generowanej Przestrzeni (TGP-ST) opiera się na radykalnej zmianie fundamentalnego rozumienia natury czasoprzestrzeni. W przeciwieństwie do standardowego modelu fizyki, gdzie czasoprzestrzeń jest postrzegana jako pasywne, preegzystujące tło, na którym rozgrywają się zjawiska fizyczne, TGP-ST proponuje odmienną perspektywę. Głównym, nadrzędnym założeniem teorii jest to, że **przestrzeń nie jest niezależnym bytem, lecz emergentnym dynamicznym tworem, który jest generowany bezpośrednio przez obecność masy i energii.**

To fundamentalne założenie ma kilka kluczowych implikacji:

1. **Przestrzeń jako Dynamiczna Sieć:** Każda cząstka, każde pole i każda forma energii w Wszechświecie aktywnie przyczynia się do **tworzenia i kształtowania samej przestrzeni**. Oznacza to głębokie odrzucenie koncepcji absolutnej, pustej przestrzeni. Zamiast tego, przestrzeń jest postrzegana jako rodzaj dynamicznej "sieci" lub "tkanki", której istnienie i właściwości są nierozzerwalnie związane z jej zawartością materialną. Bez masy i energii nie ma przestrzeni.
2. **Pole Skalarne Φ jako Gęstość Przestrzeni:** W TGP-ST wprowadzamy **pole skalarne Φ** jako fundamentalny nośnik tej emergentnej przestrzeni. Pole Φ można intuicyjnie rozumieć jako miarę "gęstości", "napięcia" lub "zagęszczenia" lokalnie generowanej przestrzeni. Jego wartość w danym punkcie czasoprzestrzeni odzwierciedla intensywność generacji przestrzeni w tym miejscu. Wartość próżniowa Φ_0 stanowi punkt odniesienia dla tej "gęstości".

3. **Zanik Tradycyjnej Koncepcji Próżni i Natura Cząstek Wirtualnych:** Kluczową konsekwencją TGP-ST jest **zanik tradycyjnej koncepcji próżni jako pustej przestrzeni**. W TGP-ST nie istnieje "nicość" w sensie braku jakiegokolwiek bytu. Nawet w obszarach, gdzie brakuje klasycznej materii czy pól, musi istnieć niezerowe, fluktuujące pole Φ , które stanowi **minimum generowanej przestrzeni**. To "próżniowe" pole Φ_0 (lub bardziej ogólnie, stan podstawowy pola Φ) jest fundamentalnym elementem samej struktury czasoprzestrzeni. Co więcej, w TGP-ST wprowadzamy nową interpretację **cząstek wirtualnych**. Nie są one efemerycznymi bytami pojawiającymi się i znikającymi z nicości. Zamiast tego, są to **lokalne, tymczasowe manifestacje kwantowych fluktuacji samej generowanej przestrzeni**. Każda cząstka, choć klasycznie może mieć ustaloną pozycję, kwantowo generuje przestrzeń, która podlega fluktuacjom. Te fluktuacje powodują "rozmycie" lokalizacji generowanej przestrzeni. Cząstki wirtualne są właśnie tymi "falami" lub "zniekształceniami" generowanej przestrzeni, które mogą być mierzone poza bezpośrednią, klasyczną lokalizacją cząstki źródłowej. To, co postrzegamy jako próżnię, jest zatem dynamicznym stanem tych nieustannych, kwantowych fluktuacji pola Φ .
4. **Grawitacja jako Efekt Generowania Przestrzeni:** To nowe podejście do natury przestrzeni prowadzi do głębokich modyfikacji w rozumieniu grawitacji. Grawitacja nie jest już wyłącznie zakrzywianiem preegzystującej geometrii, lecz **bezpośrednim efektem dynamicznego tworzenia i oddziaływania tejże geometrii przez samą materię**. Im więcej materii (lub energii), tym więcej przestrzeni jest generowane, a właściwości tej generowanej przestrzeni (opisane przez pole Φ) determinują obserwowane oddziaływania grawitacyjne.

4 Formuacja Klasyczna TGP-ST

Klasyczna dynamika Teorii Generowanej Przestrzeni (TGP-ST) jest sformułowana za pomocą zasady najmniejszego działania. Działanie to obejmuje dynamikę czasoprzestrzeni (poprzez tensor metryczny $g_{\mu\nu}$) i pola skalarne Φ , które opisuje "gęstość" generowanej przestrzeni. Całkowite działanie S składa się z członu grawitacyjnego, członu kinetycznego i potencjalnego dla pola Φ , członu sprzęgającego Φ z materią oraz Lagrangianu materii:

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{1}{16\pi G_0} R + \frac{1}{2} \Phi R + \frac{1}{2} g^{\mu\nu} (\partial_\mu \Phi) (\partial_\nu \Phi) - V(\Phi) - g_c \Phi T^\mu_\mu + L_{matter} \right] \quad (1)$$

Poszczególne składowe działania można interpretować następująco:

1. **Człon Einsteina-Hilberta:** $\frac{1}{16\pi G_0} R$ Jest to standardowy człon działania dla grawitacji w Ogólnej Teorii Względności, gdzie R jest skalarzem Ricciego, a G_0 jest "bazową" stałą grawitacji (odpowiadającą wartości w próżni dla Φ_0). Ten człon opisuje podstawową geometrię czasoprzestrzeni.
2. **Człon Sprzężenia Nieminimalnego:** $\frac{1}{2}\Phi R$ Ten człon reprezentuje nieminimalne sprzężenie pola skalarowego Φ z krzywizną czasoprzestrzeni. Jest on kluczowy w teoriach skalaro-tensorowych, gdzie pole skalarne odgrywa aktywną rolę w dynamice grawitacyjnej. W TGP-ST, ten człon formalizuje intuicję, że "gęstość" generowanej przestrzeni (Φ) bezpośrednio wpływa na samą geometrię (reprezentowaną przez R).
3. **Człon Kinetyczny Skalara:** $\frac{1}{2}g^{\mu\nu}(\partial_\mu\Phi)(\partial_\nu\Phi)$ Ten człon opisuje dynamikę i propagację pola skalarowego Φ . Jest on analogiczny do członu kinetycznego dla standardowych pól skalnych w kwantowej teorii pola.
4. **Potencjał Samooddziaływania Pola Φ :** $V(\Phi)$ Potencjał $V(\Phi)$ określa dynamikę pola Φ w próżni (tj. w stanie minimalnie generowanej przestrzeni) oraz jego stabilność i samo-oddziaływanie. Proponowana forma potencjału to:

$$V(\Phi) = -\frac{|\lambda|}{4}\Phi^3 + \frac{\kappa}{8}\Phi^4 + V_0 \quad (2)$$

gdzie λ i κ są stałymi sprzężenia, a V_0 jest stałą przesunięcia. Warunki stabilności wymagają $\lambda < 0$ i $\kappa > 0$. Ten potencjał jest kluczowy dla generowania efektywnej stałej kosmologicznej oraz dla mechanizmów ekranowania pola Φ .

5. **Człon Sprzężenia z Materią:** $-g_c\Phi T_\mu^\mu$ Ten człon opisuje bezpośrednie sprzężenie pola skalarowego Φ ze śladowym tensorem energii-pędu materii T_μ^μ . Stała g_c reprezentuje siłę tego sprzężenia. W TGP-ST, ten człon formalizuje ideę, że materia jest źródłem pola Φ , które z kolei generuje przestrzeń, w której materia istnieje i oddziałuje.
6. **Lagrangian Materii:** L_{matter} Reprezentuje Lagrangian wszystkich innych pól materii, takich jak pola Modelu Standardowego, opisując ich dynamikę i oddziaływania niezależnie od pola Φ .

4.1 Równania Ruchu TGP-ST

Równania ruchu teorii wyprowadza się poprzez wariację działania (1) względem niezależnych pól: tensora metrycznego $g_{\mu\nu}$ oraz pola skalarowego Φ .

4.1.1 Równanie Einsteina (wariacja względem $g_{\mu\nu}$)

Wariacja działania względem $g_{\mu\nu}$ prowadzi do zmodyfikowanych równań pola grawitacyjnego:

$$\left(\frac{1}{16\pi G_0} + \frac{\Phi}{2}\right) G_{\mu\nu} = \frac{1}{2}T_{\mu\nu}^\Phi + \frac{1}{2}T_{\mu\nu}^{\text{matter}} + \nabla_\mu \nabla_\nu \Phi - g_{\mu\nu} \square \Phi \quad (3)$$

gdzie $G_{\mu\nu}$ jest tensorem Einsteina, a $T_{\mu\nu}^\Phi$ jest tensorem energii-pędu dla pola skalarne Φ , zdefiniowanym jako:

$$T_{\mu\nu}^\Phi = \partial_\mu \Phi \partial_\nu \Phi - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}(\partial\Phi)^2 - g_{\mu\nu}V(\Phi) \quad (4)$$

W tym równaniu, efektywna stała grawitacji staje się zależna od pola Φ , co jest charakterystyczną cechą teorii skalarno-tensorowych.

4.1.2 Równanie dla pola skalarne Φ (wariacja względem Φ)

Wariacja działania względem pola Φ prowadzi do równania opisującego dynamikę pola generującego przestrzeń:

$$\square \Phi + \frac{1}{2}R + \frac{dV}{d\Phi} = g_c T_\mu^\mu \quad (5)$$

To równanie opisuje propagację pola Φ , jego sprzężenie z krzywizną czasoprzestrzeni (R) oraz z materią (poprzez ślad tensora energii-pędu T_μ^μ). Człon $\frac{dV}{d\Phi}$ działa jako efektywny człon masowy dla pola Φ i odgrywa rolę w mechanizmach ekranowania.

4.2 Interpretacja Pola Φ w Formułacji Klasycznej

W ujęciu klasycznym, pole Φ jest bezpośrednim nośnikiem grawitacji, modulującym jej siłę i zasięg. Rozwiązania dla Φ w obecności źródeł masy (takich jak gwiazdy czy galaktyki) determinują lokalną geometrię czasoprzestrzeni i właściwości generowanej przestrzeni. To klasyczne ujęcie stanowi podstawę do zrozumienia, jak TGP-ST różni się od OTW w makroskopowych skalach, potencjalnie wyjaśniając zjawiska takie jak ciemna energia i rozbieżności w kosmologii.

5 Mechanika Kwantowa w TGP-ST

W Teorii Generowanej Przestrzeni (TGP-ST) mechanika kwantowa jest głęboko spleciona z dynamiczną naturą czasoprzestrzeni. Standardowe stałe fundamentalne, takie jak stała Plancka \hbar , stają się zmiennymi polami zależnymi od lokalnej "gęstości" generowanej przestrzeni, opisywanej przez pole skalarne Φ . To prowadzi do zmodyfikowanego równania Schrödingera, które odzwierciedla tę fundamentalną zależność.

5.1 Równanie Schrödingera-TGP

Równanie Schrödingera w TGP-ST dla pojedynczej cząstki (lub dla środka masy układu cząstek, w kontekście emergentnej \hbar_{eff}) przyjmuje postać:

$$i\hbar_{eff}(x,t)\frac{\partial\Psi(x,t)}{\partial t} = \left[-\frac{\hbar_{eff}(x,t)^2}{2m}\nabla^2 + V_{ext}(x) + \beta\Phi(x,t) + \lambda\left(\frac{\nabla^2\Phi(x,t)}{\Phi(x,t)}\right) \right] \Psi(x,t) \quad (6)$$

gdzie $\Psi(x,t)$ jest funkcją falową cząstki, m jej masą, a $V_{ext}(x)$ potencjałem zewnętrznym. Poszczególne człony odzwierciedlają specyfikę TGP-ST:

5.1.1 Emergentna Stała Plancka (\hbar_{eff})

W TGP-ST stała Plancka nie jest fundamentalną, uniwersalną stałą, lecz **emergentną wartością, zależną od lokalnej "gęstości" generowanej przestrzeni i liczby cząstek w układzie**. Jej zależność od pola Φ i liczby cząstek N (jak omówiono w Sekcji 6) jest dana wzorem:

$$\hbar_{eff}(x,t) = \hbar_0 \left(\frac{\Phi_0}{\Phi(x,t)} \right)^{1/2} \quad (7)$$

gdzie \hbar_0 jest "bazową" stałą Plancka, a Φ_0 wartością pola Φ w próżni. Wartość N jest uwzględniona w ogólnej teorii przez skalowanie \hbar_0 dla danego układu. W kontekście makroskopowym, gdzie N jest duże, wpływa to na efektywną skalę kwantową układu, prowadząc do zaniku względnych efektów kwantowych (jak omówiono w Sekcji 7).

5.1.2 Nielokalne Sprzężenie z Przestrzenią

Człon $\beta\Phi(x,t)$ reprezentuje sprzężenie funkcji falowej z polem Φ , które jest dynamicznie generowane przez materię. Sugerowana forma tego sprzężenia to nielokalny potencjał:

$$\beta\Phi(x,t) = g_s \int \frac{|\Psi(x',t)|^2}{|x-x'|} d^3x' \quad (8)$$

gdzie g_s jest stałą sprzężenia (związana z G_0 i c_0). Ten człon wprowadza **samo-spójność** między funkcją falową a geometrią/gęstością przestrzeni: gęstość prawdopodobieństwa $|\Psi|^2$ cząstki wpływa na pole Φ , które z kolei wpływa na dynamikę samej cząstki. Jest to nowa forma oddziaływania, która nie występuje w standardowej mechanice kwantowej.

5.1.3 Człon Geometrokwantowy

Człon $\lambda\left(\frac{\nabla^2\Phi}{\Phi}\right)$ bezpośrednio łączy funkcję falową z lokalną geometrią generowanej przestrzeni. Może być on interpretowany jako wpływ lokalnej krzywizny lub "napięcia" pola Φ na dynamikę kwantową. W pewnych granicach

może być związany ze skalarą Ricciego R z równań pola grawitacyjnego TGP-ST.

5.2 Natura Cząstek Wirtualnych i Koncepcja Próżni

W TGP-ST, tradycyjna koncepcja próżni jako pustej przestrzeni zostaje odrzucona na rzecz **dynamicznej sieci generowanej przestrzeni**. Każda cząstka, która posiada energię/masę, jest źródłem generowanej przestrzeni. Ta przestrzeń, choć ma swoje źródło w cząstce o klasycznie zdefiniowanej pozycji, sama podlega kwantowym fluktuacjom.

Cząstki wirtualne w TGP-ST są interpretowane jako **lokalne, tymczasowe manifestacje tych kwantowych fluktuacji generowanej przestrzeni**. Nie są to cząstki pojawiające się z niczego w sensie standardowej zasady nieoznaczoności energii-czasu, lecz raczej "echa" lub "fale" generowanej przestrzeni, które rozchodzą się od cząstek źródłowych. Fluktuacje te wynikają z kwantowej **nieoznaczoności lokalizacji samej generowanej przestrzeni**, co przekłada się na nieoznaczoność pozycji w klasycznym sensie. To, co postrzegamy jako "próżnię", jest zatem dynamicznym, nieustannie fluktuującym stanem pola Φ , wypełnionym tymi manifestacjami generowanej przestrzeni, które wpływają na właściwości fundamentalne, takie jak prędkość światła $c(\Phi)$.

5.3 Kluczowe Implikacje Mechaniki Kwantowej w TGP-ST

Zmodyfikowane równanie Schrödingera i reinterpretacja fundamentalnych stałych prowadzą do głębokich konsekwencji:

- Kwantowe efekty są zależne od lokalnych warunków przestrzennych (wartości pola Φ).
- Oddziaływania kwantowe są nierozzerwalnie związane z dynamiką samej przestrzeni.
- W ekstremalnych warunkach (np. w pobliżu masywnych obiektów), gdzie Φ jest wysokie, \hbar_{eff} dąży do zera, co implikuje przejście do reżimu klasycznego nawet dla pojedynczych cząstek.

6 Dynamiczne Stałe Fundamentalne w TGP-ST

W standardowym Modelu Standardowym fizyki i Ogólnej Teorii Względności, fundamentalne stałe takie jak prędkość światła c , stała Plancka \hbar i stała grawitacji G są traktowane jako niezmiennie uniwersalne wartości. W Teorii Generowanej Przestrzeni (TGP-ST), z jej fundamentalnym założeniem

o emergentnej i dynamicznej naturze przestrzeni, te "stałe" przestają być fundamentalne w tradycyjnym sensie. Zamiast tego, stają się one **dynamicznymi polami, zależnymi od lokalnej "gęstości" generowanej przestrzeni, opisywanej przez pole skalarne Φ **. Ta zależność stanowi kluczowy element teorii, który pozwala na unifikację zjawisk kwantowych i grawitacyjnych.

Dla uproszczenia notacji, przyjmujemy, że wartość pola Φ w stanie próżniowym (minimalnie generowanej przestrzeni) wynosi Φ_0 . Znormalizujemy ją do jedności ($\Phi_0 = 1$) w dalszych obliczeniach. Wartości c_0 , \hbar_0 i G_0 to **obserwowane wartości tych stałych w naszej lokalnej, zrelatywizowanej próżni (czyli gdy $\Phi = \Phi_0$)**, które TGP-ST przewiduje jako punkt odniesienia dla ich dynamicznej zmienności.

6.1 Prędkość Światła ($c(\Phi)$)

W TGP-ST, prędkość światła c nie jest stałą uniwersalną, lecz dynamicznie zmieniającą się wartością, zależną od lokalnej "gęstości" generowanej przestrzeni Φ . Intuicyjnie, im "gęstsza" przestrzeń (większa wartość Φ), tym trudniej jest rozchodzić się falam elektromagnetycznym, co objawia się niższą prędkością światła.

Aby formalnie wprowadzić tę zależność, modyfikujemy działanie elektromagnetyzmu poprzez wprowadzenie funkcji sprzęgającej $Z(\Phi)$ z tensorem pola elektromagnetycznego $F_{\mu\nu}$:

$$S_{EM} = \int d^4x \sqrt{-g} \left[-\frac{1}{4} Z(\Phi) F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \right] \quad (9)$$

Proponujemy następującą formę funkcji sprzęgającej, która bezpośrednio wiąże właściwości przestrzeni z propagacją światła:

$$Z(\Phi) = \frac{\Phi}{\Phi_0} \quad (10)$$

Wariacja działania (9) względem potencjału elektromagnetycznego A_μ prowadzi do zmodyfikowanych równań Maxwella. Analiza prędkości fazowej fali elektromagnetycznej w tym ośrodku (gdzie $Z(\Phi)$ działa jak zmienny współczynnik dielektryczny) prowadzi do następującej zależności prędkości światła od pola Φ :

$$c(\Phi) = c_0 \left(\frac{\Phi_0}{\Phi} \right)^{1/2} = \frac{c_0}{\sqrt{\tilde{\Phi}}} \quad (11)$$

gdzie c_0 jest prędkością światła w próżni (dla $\Phi = \Phi_0$, czyli $\tilde{\Phi} = 1$). Z tego wzoru wynika, że w obszarach o wysokim Φ (zagęszczona przestrzeń), $c(\Phi)$ maleje, dążąc do zera gdy $\Phi \rightarrow \infty$.

6.2 Stała Plancka ($\hbar(\Phi)$)

W TGP-ST, stała Plancka \hbar również jest dynamicznym polem, co ma fundamentalne znaczenie dla unifikacji mechaniki kwantowej z grawitacją. Jak omówiono w Sekcji 5, efektywna stała Plancka \hbar_{eff} w równaniu Schrödingera-TGP jest zależna od lokalnej wartości pola Φ . Proponowana zależność jest analogiczna do prędkości światła, co jest intuicyjnie spójne, ponieważ obie stałe charakteryzują właściwości propagacji w czasoprzestrzeni:

$$\hbar(\Phi) = \hbar_0 \left(\frac{\Phi_0}{\Phi} \right)^{1/2} = \frac{\hbar_0}{\sqrt{\tilde{\Phi}}} \quad (12)$$

gdzie \hbar_0 jest wartością stałej Plancka w próżni. Ta forma zapewnia, że w obszarach o ekstremalnie wysokim Φ (np. w pobliżu mas centralnych czarnych dziur), $\hbar(\Phi)$ dąży do zera. Jest to kluczowy mechanizm tłumienia efektów kwantowych w silnych polach, prowadzący do klasycznego zachowania materii w tych rejonach (patrz Sekcja 7).

6.3 Stała Grawitacji ($G(\Phi)$)

Aby zachować fundamentalną spójność między kwantową grawitacją a dynamicznymi stałymi, postulujemy, że długość Plancka $\ell_P = \sqrt{\hbar G/c^3}$ pozostaje uniwersalną stałą. Jeśli ℓ_P ma być stałą, podczas gdy c i \hbar są dynamiczne, to stała grawitacji G również musi być dynamicznym polem $G(\Phi)$.

Wyprowadźmy zależność $G(\Phi)$ z warunku stałości $\ell_P^2 = \hbar G/c^3$:

$$G(\Phi) = \frac{\ell_P^2 c(\Phi)^3}{\hbar(\Phi)}$$

Podstawiając wcześniej zdefiniowane zależności $c(\Phi)$ i $\hbar(\Phi)$:

$$G(\Phi) = \frac{\ell_P^2 \left(c_0 \left(\frac{\Phi_0}{\Phi} \right)^{1/2} \right)^3}{\hbar_0 \left(\frac{\Phi_0}{\Phi} \right)^{1/2}} = \frac{\ell_P^2 c_0^3 (\Phi_0/\Phi)^{3/2}}{\hbar_0 (\Phi_0/\Phi)^{1/2}}$$

Wiemy, że $\ell_P^2 = \hbar_0 G_0 / c_0^3$. Podstawiając to:

$$G(\Phi) = \frac{\hbar_0 G_0}{c_0^3} \frac{c_0^3 (\Phi_0/\Phi)^{3/2}}{\hbar_0 (\Phi_0/\Phi)^{1/2}} = G_0 \left(\frac{\Phi_0}{\Phi} \right)^{3/2-1/2} = G_0 \left(\frac{\Phi_0}{\Phi} \right)^1 = G_0 \frac{\Phi_0}{\Phi}$$

Zatem stała grawitacji G również jest dynamicznym polem:

$$G(\Phi) = G_0 \frac{\Phi_0}{\Phi} = \frac{G_0}{\tilde{\Phi}} \quad (13)$$

W tym przypadku, $G(\Phi)$ maleje, gdy Φ rośnie.

6.4 Spójność Skali Plancka

Zastosowanie powyższych zależności $c(\Phi)$, $\hbar(\Phi)$ i $G(\Phi)$ do definicji długości Plancka ℓ_P potwierdza jej stałość:

$$\ell_P = \frac{\hbar(\Phi)G(\Phi)}{c(\Phi)^3} = \frac{\hbar_0(\Phi_0/\Phi)^{1/2} \cdot G_0(\Phi_0/\Phi)^{1/2}}{(c_0(\Phi_0/\Phi)^{1/2})^3} = \frac{\hbar_0 G_0}{c_0^3} \left(\frac{\Phi_0}{\Phi} \right)^{1/2+1/2-3/2} = \frac{\hbar_0 G_0}{c_0^3} \left(\frac{\Phi_0}{\Phi} \right)^0 = \frac{\hbar_0 G_0}{c_0^3} =$$

Ta stałość długości Plancka ℓ_P jest kluczowym wynikiem, który potwierdza wewnętrzną spójność TGP-ST. Mimo dynamicznej natury poszczególnych stałych fundamentalnych, ich wzajemne zależności zapewniają, że fundamentalna skala kwantowej grawitacji pozostaje niezmienna. To sugeruje, że TGP-ST stanowi spójną ramę, w której zmienność stałych jest naturalną konsekwencją emergentnej czasoprzestrzeni.

7 Granica Klasyczna w TGP-ST

W standardowej mechanice kwantowej granica klasyczna jest tradycyjnie osiągana w sytuacji, gdy stała Plancka \hbar dąży do zera. W Teorii Generowanej Przestrzeni (TGP-ST), z uwagi na dynamiczną naturę $\hbar(\Phi)$, istnieją **dwie odrębne, lecz wzajemnie uzupełniające się ścieżki do osiągnięcia granicy klasycznej**, zależne od kontekstu fizycznego. To dwutorowe podejście stanowi kluczową nowość TGP-ST, umożliwiającą spójne przejście od świata kwantowego do makroskopowego.

7.1 Granica Statystyczna ($N \rightarrow \infty$)

Pierwsza ścieżka do granicy klasycznej dotyczy układów zawierających ogromną liczbę cząstek, czyli gdy $N \rightarrow \infty$. Mimo że w TGP-ST efektywna stała Plancka \hbar_{eff} (skalowana przez N) rośnie wraz z N , to **fluktuacje kwantowe stają się pomijalne względem makroskopowych obserwacji**. Zjawisko to można zrozumieć poprzez analizę względnych niepewności:

- **Supresja względnych niepewności:** Dla układu składającego się z N cząstek, całkowita niepewność pozycji może skalować się jako $\Delta X_{total} \propto \sqrt{N} \hbar_{eff}$. Jednakże, to co jest istotne dla zachowania klasycznego, to niepewność względna (np. w stosunku do rozmiaru układu lub jego pędu), która dąży do zera, tj. $\Delta X_{rel} \propto 1/N \rightarrow 0$ dla $N \rightarrow \infty$. Oznacza to, że dla makroskopowych układów, składających się z ogromnej liczby cząstek, kwantowe fluktuacje stają się niewykrywalne w skali makroskopowej, prowadząc do obserwowalnego zachowania klasycznego.
- **Dominacja członu geometrokwantowego:** W równaniu Schrödingera-TGP, dla układów o bardzo dużej liczbie cząstek, człon sprzęgający

funkcję falową z lokalną geometrią ($\lambda(\nabla^2\Phi/\Phi)$) może narzucać trajektorie zbliżone do klasycznych. Wraz ze wzrostem N , wpływ lokalnej geometrii staje się dominujący, kierując dynamikę układu ku klasycznemu opisowi.

W tej granicy równanie Schrödingera-TGP może być redukowane do równania Hamiltona-Jacobiego, opisującego klasyczne trajektorie.

7.2 Granica Silnego Pola ($\Phi \rightarrow \infty$)

Druga ścieżka do granicy klasycznej jest szczególnie istotna w obszarach o ekstremalnych warunkach czasoprzestrzennych, charakteryzujących się bardzo wysoką "gęstością" generowanej przestrzeni, tj. gdy $\Phi \rightarrow \infty$. Zgodnie z naszą definicją (Sekcja 6), efektywna stała Plancka $\hbar(\Phi)$ jest odwrotnie proporcjonalna do $\sqrt{\Phi}$:

$$\hbar(\Phi) = \hbar_0 \left(\frac{\Phi_0}{\Phi} \right)^{1/2} \quad (14)$$

W konsekwencji, gdy Φ dąży do nieskończoności, $\hbar(\Phi)$ dąży do zera ($\hbar(\Phi) \rightarrow 0$).

- **Tłumienie efektów kwantowych:** Malejąca wartość $\hbar(\Phi)$ efektywnie tłumi wszelkie efekty kwantowe, nawet dla pojedynczych cząstek, prowadząc do dominacji zachowania klasycznego. W takich rejonach, zjawiska takie jak tunelowanie, superpozycja czy nieoznaczoność, stają się praktycznie niewykrywalne.
- **Zgodność z OTW:** W tej granicy, gdzie efekty kwantowe zanikają, równania TGP-ST (zwłaszcza równania pola grawitacyjnego) mogą zredukować się do równań Einsteina Ogólnej Teorii Względności. To zapewnia zgodność z sukcesem OTW w opisie silnych pól grawitacyjnych.

Ta granica jest kluczowa dla zrozumienia dynamiki obiektów takich jak czarne dziury, gdzie TGP-ST przewiduje brak osobliwości poprzez klasyczne zachowanie materii w ekstremalnych warunkach pola Φ .

7.3 Matematyczna Spójność z Równaniem Hamiltona-Jacobiego

Niezależnie od wybranej ścieżki, przejście do granicy klasycznej można formalnie opisać, stosując standardowe techniki mechaniki kwantowej. Rozważając funkcję falową w postaci półklasycznej $\Psi = \rho e^{iS/\hbar_{eff}}$, równanie Schrödingera-TGP w granicy klasycznej redukuje się do równania Hamiltona-Jacobiego:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{(\nabla S)^2}{2m} + V_{eff} = 0 \quad (15)$$

Kluczowym mechanizmem redukcji jest zanik członu $\frac{\hbar_{eff}^2}{2m} \frac{\nabla^2 \rho}{\rho}$ (tzw. kwantowa presja), który reprezentuje efekty kwantowe. W granicy statystycznej,

mimo że \hbar_{eff} może być duże, człon $\frac{\nabla^2 \rho}{\rho}$ (odzwierciedlający fluktuacje gęstości prawdopodobieństwa) maleje szybciej niż \hbar_{eff}^2 rośnie, dzięki supresji fluktuacji przez dużą liczbę N . W granicy silnego pola, zanik tego członu jest bezpośrednią konsekwencją $\hbar_{eff} \rightarrow 0$.

Mechanizm	Warunek Dominujący	Skutek	Przykład
Statystyczny ($N \rightarrow \infty$)	$\Delta X_{rel} \propto 1/N \rightarrow 0$	Zanik względnych fluktuacji	Układy makroskopowe (planety, kule bilardowe)
Silne Pole ($\Phi \rightarrow \infty$)	$\hbar(\Phi) \propto (\Phi_0/\Phi)^{1/2} \rightarrow 0$	Tłumienie efektów kwantowych	Horyzonty czarnych dziur, wczesny Wszechświat

Tabela 1: Porównanie dwóch ścieżek do granicy klasycznej w TGP-ST.

8 Kluczowe Konsekwencje Fizyczne i Rozwiązane Problemy

Teoria Generowanej Przestrzeni (TGP-ST) oferuje nowe perspektywy na wiele długotrwałych problemów fizyki teoretycznej i kosmologii, wynikające bezpośrednio z jej fundamentalnych założeń o emergentnej naturze przestrzeni i dynamicznych stałych fundamentalnych.

8.1 Eliminacja Osobliwości

Jednym z najbardziej palących problemów Ogólnej Teorii Względności (OTW) jest występowanie osobliwości, gdzie gęstość materii i krzywizna czasoprzestrzeni stają się nieskończone (np. w centrach czarnych dziur czy w Wielkim Wybuchu). W TGP-ST, koncepcja osobliwości jest fundamentalnie niemożliwa. Ponieważ przestrzeń jest generowana przez masę, jej **zagęszczenie do punktu o zerowej objętości jest z natury niemożliwe**.

W ramach TGP-ST, w pobliżu ekstremalnie gęstych obiektów (gdzie $\Phi \rightarrow \infty$), prędkość światła $c(\Phi)$ dąży do zera ($c(\Phi) \propto 1/\sqrt{\Phi}$). Oznacza to, że światło (i wszelkie informacje) jest skutecznie "zamrażane" i nie może uciec, co elegancko tłumaczy mechanizm horyzontu zdarzeń. Co więcej, w tych regionach, efektywna stała Plancka $\hbar(\Phi)$ również dąży do zera, prowadząc do **klasycznego zachowania materii** (Sekcja 7). To zapobiega kwantowym kolapsom i nieskończonym gęstościom, sugerując istnienie skończonego, aczkolwiek ekstremalnie gęstego, regionu, w którym efekty kwantowe są stłumione, a prędkość światła zbiega do zera, efektywnie eliminując osobliwości.

8.2 Natura Ciemnej Energii i Ekspansja Wszechświata

Problem ciemnej energii, odpowiedzialnej za przyspieszone rozszerzanie się Wszechświata, pozostaje jedną z największych zagadek kosmologii. W TGP-ST pole skalarne Φ i jego potencjał samooddziaływania $V(\Phi)$ odgrywają kluczową rolę w tej kwestii.

W próżni, czyli w stanie podstawowym, gdzie $\Phi \rightarrow \Phi_0$, potencjał $V(\Phi_0)$ działa jak **efektywna stała kosmologiczna** (Λ_{eff}). Jej wartość naturalnie wynika z dynamiki pola generującego przestrzeń. Co więcej, TGP-ST oferuje nową perspektywę na samo rozszerzanie się Wszechświata. Zamiast odwoływać się wyłącznie do abstrakcyjnej energii próżni, przyspieszona ekspansja może być rozumiana jako **makroskopowy efekt lokalnego generowania dodatkowej przestrzeni przez zagęszczenia masy** (np. w gromadach galaktyk). Te lokalnie generowane przestrzenie sumują się, prowadząc do globalnego rozszerzania się wszechświata, co jest zgodne z obserwacjami.

8.3 Rozbieżności Kosmologiczne (Napięcie Hubble'a)

Obecnie obserwowane są znaczące rozbieżności w pomiarach tempa rozszerzania się Wszechświata (stałej Hubble'a, H_0), zależnie od stosowanych metod i skal. Pomiary oparte na wczesnym Wszechświecie (np. Kosmiczne Promieniowanie Tła) różnią się od tych opartych na późnym Wszechświecie (np. supernowe). TGP-ST oferuje potencjalne wyjaśnienie tej rozbieżności.

Standardowe metody pomiarowe zakładają stałą prędkość światła c_0 . Jednakże, w TGP-ST, $c(\Phi)$ jest zmienne. Jeśli lokalna gęstość generowanej przestrzeni (Φ) lub jej ewolucja w czasie kosmicznym wpływa na prędkość światła, to **nasze obecne pomiary odległości i tempa rozszerzania są błędnie interpretowane**. Na przykład, niższe $c(\Phi)$ w regionach o wyższej gęstości materii (lub we wczesnym Wszechświecie) mogłoby sprawić, że obiekty wydawałyby się dalej, niż wynikałoby to ze standardowych modeli, co mogłoby rozładować "napięcie Hubble'a".

8.4 Nowa Perspektywa na Naturę Grawitacji

TGP-ST redefiniuje grawitację od podstaw. Nie jest to jedynie geometria zakrzywiona przez materię, lecz dynamiczny proces, w którym **materiałne obiekty aktywnie tworzą przestrzeń, w której się znajdują i oddziałują**. Zmienność stałej grawitacji $G(\Phi)$ (Sekcja 6) jest bezpośrednim tego przejawem, gdzie "siła" grawitacji jest modulowana przez "gęstość" generowanej przestrzeni.

8.5 Kwantowa Niejednorodność i Fluktuacje

W TGP-ST, nieoznaczoność kwantowa i cząstki wirtualne zyskują fundamentalne, fizyczne uzasadnienie w dynamice samej przestrzeni. **Fluktuacje**

kwantowe generowanej przestrzeni są bezpośrednią przyczyną nieoznaczoności pozycji i manifestują się jako cząstki wirtualne. To tłumaczy ich wszechobecność i wpływ na fizykę, nawet w pozornie pustych obszarach, ponieważ są one inherentną cechą dynamicznej sieci przestrzennej.

9 Testowalne Przewidywania

Teoria Generowanej Przestrzeni (TGP-ST), ze swoimi unikalnymi założeniami o dynamicznej naturze czasoprzestrzeni i zmienności fundamentalnych stałych, generuje szereg testowalnych przewidywań, które różnią się od przewidywań Modelu Standardowego i Ogólnej Teorii Względności. Weryfikacja tych przewidywań jest kluczowa dla potwierdzenia słuszności TGP-ST.

9.1 Anomalie w Układach Kwantowych i Fluktuacje Stałej Plancka

Zgodnie z TGP-ST, efektywna stała Plancka $\hbar(\Phi)$ jest zmienna i zależy od lokalnej "gęstości" generowanej przestrzeni. To prowadzi do następujących testowalnych konsekwencji:

- **Modyfikacje zasady nieoznaczoności:** Zasada nieoznaczoności Heisenberga, $\Delta x \Delta p \geq \hbar(\Phi)/2$, będzie zależała od lokalnej wartości pola Φ . W obszarach o wyższym Φ (np. w pobliżu dużych mas), $\hbar(\Phi)$ będzie mniejsze, co sugeruje, że niepewności kwantowe mogą być lokalnie zmniejszone. Eksperymenty precyzyjne, mierzące fluktuacje kwantowe w kontrolowanych środowiskach z gradientem pola grawitacyjnego (a tym samym gradientem Φ), mogłyby wykazać te anomalie.
- **Zależność efektów tunelowych od geometrii:** Prawdopodobieństwo tunelowania kwantowego będzie zależne od lokalnej wartości pola Φ i jego fluktuacji. W regionach o wysokim Φ (gdzie $\hbar(\Phi)$ jest mniejsze), prawdopodobieństwo tunelowania mogłoby być niższe, co stanowiłoby mierzalną modyfikację. Testy te mogłyby być przeprowadzane z wykorzystaniem tunelowania elektronów lub kondensatów Bosego-Einsteina.
- **Modyfikacje w spektroskopii atomowej:** Poziomy energetyczne atomów i ich widma emisyjne/absorpcyjne zależą od \hbar . Jeśli \hbar jest zmienne, to poziomy energetyczne E_n będą zależeć od lokalnej wartości Φ , co może prowadzić do subtelnych przesunięć w widmach atomowych, mierzalnych w różnych środowiskach grawitacyjnych (np. na Ziemi vs. w kosmosie, lub w pobliżu masywnych obiektów, jeśli precyzja na to pozwoli).

9.2 Obserwacje Astrofizyczne i Kosmologiczne

Wielkoskalowe konsekwencje TGP-ST oferują szereg przewidywań, które mogą być testowane za pomocą obserwacji astronomicznych:

- **Modyfikacje w tempie ekspansji Wszechświata:** Zmienna prędkość światła $c(\Phi)$ i zmienna stała grawitacji $G(\Phi)$ mają bezpośredni wpływ na równania Friedmanna i dynamikę kosmologiczną. Oznacza to, że TGP-ST może rozwiązać (lub przynajmniej wyjaśnić) **napięcie Hubble’a**, przewidując, że pomiary H_0 z różnych epok lub skal mogą dawać różne wyniki, wynikające z odmiennych średnich wartości Φ i $c(\Phi)$ w tych epokach/regionach. Dokładne modelowanie ewolucji $H(z)$ w TGP-ST będzie kluczowe.
- **Właściwości czarnych dziur i obiektów kompaktowych:** W TGP-ST czarne dziury nie posiadają osobliwości, a prędkość światła $c(\Phi)$ dąży do zera na horyzoncie. Może to prowadzić do subtelnych modyfikacji w sygnaturach fal grawitacyjnych z łączenia się czarnych dziur (np. w fazie "ringdown"), które mogłyby zawierać sygnatury pola Φ . Ponadto, ekstremalne warunki w pobliżu gwiazd neutronowych i aktywnych jąder galaktyk mogą prowadzić do obserwowalnych odchyień od przewidywań OTW.
- **Propagacja światła w silnych polach grawitacyjnych:** Zmienność $c(\Phi)$ oznacza, że światło z bardzo odległych lub przechodzących przez bardzo gęste regiony wszechświata (np. centra gromad galaktyk) może propagować się z inną prędkością niż w próżni, co mogłoby być mierzalne poprzez precyzyjną astrometrię lub efekty soczewkowania grawitacyjnego.
- **Dodatkowe polaryzacje fal grawitacyjnych:** Jako teoria skłarno-tensorowa, TGP-ST może przewidywać obecność dodatkowych polaryzacji fal grawitacyjnych (np. polaryzacji skalarnej), które nie występują w OTW. Przyszłe detektory fal grawitacyjnych mogą być w stanie wykryć takie sygnatury.

9.3 Potencjalne Eksperymenty Laboratoryjne

Chociaż TGP-ST dotyczy fundamentalnych sił, niektóre z jej konsekwencji mogą być potencjalnie testowalne w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, zwłaszcza te związane ze zmiennością $\hbar(\Phi)$ i $c(\Phi)$:

- **Pomiar lokalnej zmienności c :** W teorii zmiennej prędkości światła, w zasadzie możliwe jest, że c może się nieznacznie różnić w obecności bardzo masywnych obiektów (np. w głębi Ziemi, choć efekt byłby ekstremalnie mały) lub w laboratorium, jeśli udałoby się stworzyć regiony o zmiennej "gęstości" pola Φ .

- **Testy zasady równoważności:** Ze względu na sprzężenie pola Φ z materią, mogą pojawić się subtelne naruszenia zasady równoważności, które mogłyby być wykryte przez eksperymenty takie jak Eötvös czy MICROSCOPE, poszukujące różnic w swobodnym spadku różnych substancji.

Weryfikacja tych przewidywań stanowi długoterminowy cel badań, wymagający zarówno rozwoju precyzyjnych technik pomiarowych, jak i dalszego dopracowania teoretycznego TGP-ST.

10 Dyskusja i Otwarte Problemy

Niniejsza praca przedstawia zarys Teorii Generowanej Przestrzeni (TGP-ST) jako potencjalnego, spójnego kierunku w poszukiwaniach unifikacji grawitacji i mechaniki kwantowej. Autor ma pełną świadomość, że zaprezentowana teoria, w swojej obecnej formie, **nie odpowiada na wszystkie pytania**; co więcej, samo jej sformułowanie często generuje **więcej nowych pytań niż dostarcza gotowych odpowiedzi**. Celem niniejszego preprintu nie jest przedstawienie ostatecznej, w pełni udowodnionej i zamkniętej teorii, lecz **zaprezentowanie fundamentalnej idei, że spojrzenie na przestrzeń jako byt generowany przez masę ma głęboki sens fizyczny i jest warte dalszej weryfikacji oraz intensywnego rozwoju naukowego**. Traktuję tę pracę jako zaproszenie do dyskusji i współpracy, która ma na celu zgłębienie konsekwencji TGP-ST.

Jak każda nowa teoria fundamentalna, TGP-ST wiąże się z szeregiem wyzwań, które wymagają dalszych dogłębnych badań i rozwoju. Poniżej przedstawiamy kluczowe z nich.

10.1 Kowariancja Lorentza i Koncepcja Prędkości Światła

W TGP-ST, prędkość światła $c(\Phi)$ jest dynamicznym polem zależnym od lokalnej "gęstości" generowanej przestrzeni. Ta zmienność implikuje modyfikację fundamentalnej zasady **niezmienniczości Lorentza**, która jest kamieniem węgielnym Szczególnej Teorii Względności (STW) i, pośrednio, Ogólnej Teorii Względności. W standardowej STW, c jest absolutną stałą dla wszystkich inercjalnych układów odniesienia. W TGP-ST, $c(\Phi)$ jest nadal lokalną maksymalną prędkością propagacji informacji, ale jej wartość *numeryczna* może się zmieniać w przestrzeni i czasie. Wymaga to uogólnienia transformacji Lorentza, które będą zależały od pola Φ . Chociaż może to wydawać się fundamentalnym problemem, jest to bezpośrednia konsekwencja koncepcji emergentnej i dynamicznej przestrzeni. Wyzwaniem jest opracowanie pełnego, kowariantnego formalizmu, który będzie opisywał dynamikę

pól w czasoprzestrzeni ze zmienną lokalnie prędkością światła, zachowując jednocześnie zasadę przyczynowości.

10.2 Zachowanie Energii i Pędu

Zmienność prędkości światła $c(\Phi)$ i stałej grawitacji $G(\Phi)$ w TGP-ST ma bezpośrednie implikacje dla **zasad zachowania energii i pędu**. W standardowej fizyce te zasady są ściśle powiązane z niezmienniczościami czasoprzestrzeni (poprzez twierdzenie Noether). Jeśli metryka i fundamentalne stałe są dynamiczne, to tradycyjne definicje zachowania energii i pędu mogą wymagać uogólnienia. Jak wskazano wcześniej, energia układu może nie być zachowana w sposób globalny, jeśli pole Φ ewoluuje, co może prowadzić do równania postaci $dE/dt = -E/(2\Phi)d\Phi/dt$. Wymaga to dokładnej analizy, czy teoria jest w stanie zdefiniować uogólnione, zachowane wielkości (np. na poziomie pędu-energii materii i pola Φ połączonych w tensory pseudo-stresu), czy też akceptuje, że energia może być swobodnie wymieniana z "tkanką" przestrzeni, co miałoby dalekosiężne konsekwencje.

10.3 Renormalizacja UV i Kwantyzacja Grawitacji

Podobnie jak wiele innych teorii grawitacji, TGP-ST w obecnej klasycznej formulacji (i przy próbach perturbacyjnej kwantyzacji) najprawdopodobniej jest **nierenormalizowalna w ultrafioletowym (UV) reżimie**. Oznacza to, że proste metody obliczeń perturbacyjnych prowadzą do nieskończoności, których nie da się usunąć skończoną liczbą redefinicji stałych. TGP-ST będzie wymagała zastosowania podejść nieperturbacyjnych do kwantyzacji grawitacji. Potencjalnymi kierunkami mogą być:

- **Asymptotyczne bezpieczeństwo:** Hipoteza, że teoria staje się dobrze zachowująca się przy bardzo wysokich energiach, osiągając stabilny punkt stały dla swoich stałych sprzężenia.
- **Emergentna grawitacja kwantowa:** Rozwój, w którym kwantowa grawitacja i przestrzeń wyłaniają się z jeszcze bardziej fundamentalnych stopni swobody, z których TGP-ST byłaby efektywną teorią.

To jest wyzwanie wspólne dla większości podejść do grawitacji kwantowej i nie jest unikalne dla TGP-ST.

10.4 Dokładne Rozwiązania Równań Pola

Obecnie, pełne analityczne rozwiązania sprzężonych równań Einsteina-TGP-ST i równania dla pola Φ są znane tylko dla bardzo prostych geometrii (np. metryka Schwarzschilda w próżni, jak omówiono). W pełni realistyczne scenariusze (np. ewolucja Wszechświata, procesy astrofizyczne) będą wymagały

złożonych rozwiązań numerycznych. Precyzyjne przewidywania dla obserwacji, szczególnie w kontekście napięcia Hubble’a, wymagają dokładnego modelowania propagacji światła w dynamicznej czasoprzestrzeni TGP-ST.

10.5 Dalsze Kierunki Badań

Przyszłe badania nad TGP-ST powinny koncentrować się na:

- Rozwinięciu pełnego kwantowego formalizmu teorii, w tym kwantyzacji pola Φ i jego sprzężeń.
- Analizie stabilności i spójności teorii w różnych reżimach energetycznych.
- Opracowaniu bardziej szczegółowych przewidywań astrofizycznych i laboratoryjnych, które można by porównać z danymi obserwacyjnymi.
- Zbadaniu, czy TGP-ST może naturalnie włączyć inne siły Modelu Standardowego w ramach swojego emergentnego formalizmu.

Mimo tych wyzwań, TGP-ST oferuje unikalne i potężne ramy do ponownego przemyślenia fundamentalnych aspektów fizyki, wskazując na obiecującą drogę do unifikacji.

11 Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiliśmy zarys **Teorii Generowanej Przestrzeni (TGP-ST)**, radykalnego podejścia do fundamentalnych sił fizycznych, które proponuje unifikację grawitacji i mechaniki kwantowej. Centralnym założeniem TGP-ST jest idea, że **przestrzeń nie jest pasywnym tłem, lecz dynamicznym bytem emergentnym, generowanym bezpośrednio przez obecność masy i energii**. Ta rewolucyjna koncepcja prowadzi do odrzucenia tradycyjnej koncepcji próżni, zastępując ją dynamiczną siecią generowanej przestrzeni, której “gęstość” opisuje pole skalarne Φ . W tym kontekście, cząstki wirtualne zyskują nową interpretację jako lokalne manifestacje kwantowych fluktuacji tej generowanej przestrzeni.

Kluczowym elementem TGP-ST jest fundamentalna **zmienność “stałych” fizycznych**: prędkość światła $c(\Phi)$, stała Plancka $\hbar(\Phi)$ oraz stała grawitacji $G(\Phi)$ stają się polami zależnymi od lokalnej wartości Φ . Wykazaliśmy, że te dynamiczne zależności mogą zachować **stałość długości Plancka** ℓ_P , co jest eleganckim wynikiem spójnym z zasadami kwantowej grawitacji.

Teoria ta oferuje potencjalne, spójne rozwiązania dla wielu nierozwiązanych problemów współczesnej fizyki:

- **Eliminacja osobliwości** w czarnych dziurach i na początku Wszechświata, dzięki temu, że $c(\Phi)$ i $\hbar(\Phi)$ dążą do zera w obszarach ekstremalnie wysokiego Φ .
- Nowa interpretacja **ciemnej energii** jako inherentnej właściwości potencjału pola Φ oraz perspektywa na **rozszerzanie się Wszechświata** jako efekt lokalnego generowania przestrzeni przez zagęszczenia masy.
- Potencjalne wyjaśnienie **napięcia Hubble’a** poprzez zmienność $c(\Phi)$ na skalach kosmologicznych.
- Zapewnienie nowej, fizycznej interpretacji **nieoznaczoności kwantowej i cząstek wirtualnych**, osadzonej w fluktuacjach samej generowanej przestrzeni.

Przedstawiliśmy zmodyfikowane równania ruchu dla grawitacji i pola Φ , a także równanie Schrödingera-TGP z emergentną stałą Plancka. Omówiliśmy dwie ścieżki do granicy klasycznej, co zapewnia płynne przejście od mikro- do makroświata. Co najważniejsze, TGP-ST generuje **konkretne i testowalne przewidywania** w dziedzinie fizyki kwantowej (np. modyfikacje zasady nieoznaczoności) oraz astrofizyki (np. sygnatury w falach grawitacyjnych, odchylenia w kosmologicznych pomiarach odległości).

Mimo że TGP-ST stawia przed nami szereg wyzwań, takich jak kowariancja Lorentza, zachowanie energii czy pełna renormalizacja kwantowa, jej spójność wewnętrzna i zdolność do oferowania rozwiązań dla fundamentalnych problemów czynią ją **obiecującym kierunkiem dalszych badań**. Teoria Generowanej Przestrzeni stanowi odważny krok w kierunku zunifikowanego opisu Wszechświata, gdzie przestrzeń i materia są nierozdzielnie ze sobą związane w dynamicznym tańcu tworzenia.

Literatura

- [1] A. Einstein, "Die Feldgleichungen der Gravitation," *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 844-847 (1915).
- [2] E. Schrödinger, "An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules," *Physical Review* **28**(6), 1049-1070 (1926).
- [3] W. Heisenberg, "Ueber den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik," *Zeitschrift für Physik* **43**(3-4), 172-198 (1927).
- [4] P. A. M. Dirac, "The Quantum Theory of the Electron," *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character* **117**(778), 610-624 (1928).

- [5] C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler, *Gravitation*, W. H. Freeman (1973).
- [6] R. M. Wald, *General Relativity*, University of Chicago Press (1984).
- [7] C. Brans and R. H. Dicke, "Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation," *Physical Review* **124**(3), 925-935 (1961).
- [8] J. W. Moffat, "A New Theory of Gravity," *Phys. Rev. D* **70**, 124009 (2004) [[arXiv:gr-qc/0010078](#)].
- [9] J. Magueijo, "Covariant theories of varying c ," *Rept. Prog. Phys.* **66**, 2025-2068 (2003) [[arXiv:astro-ph/0305457](#)].
- [10] S. Perlmutter et al. (Supernova Cosmology Project), "Measurements of Omega and Lambda from 42 High-Redshift Supernovae," *Astrophysical Journal* **517**(2), 565-586 (1999) [[arXiv:astro-ph/9812133](#)].
- [11] A. G. Riess et al. (Supernova Search Team), "Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant," *Astronomical Journal* **116**(3), 1009-1038 (1998) [[arXiv:astro-ph/9805201](#)].
- [12] Planck Collaboration, "Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters," *Astronomy & Astrophysics* **641**, A6 (2020) [[arXiv:1807.06209](#)].
- [13] S. Weinberg, "Ultraviolet divergences in quantum theories of gravitation," in *General Relativity: An Einstein Centenary Survey*, ed. S.W. Hawking and W. Israel, Cambridge University Press, 790-831 (1979).
- [14] L. Verde, T. Treu, A. G. Riess, "Tensions between the Early and the Late Universe," *Nature Astronomy* **3**, 891-895 (2019) [[arXiv:1907.10625](#)].